

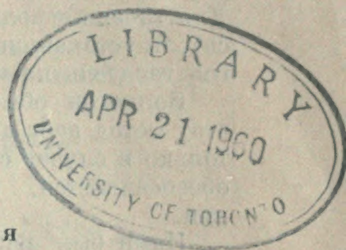
Dmitriev, A A
Laboratornai͡a
ustanovka dli͡a issle-
dovanii͡a volnovykh
dvizheniĭ zhidkosti

Q
185
D55

Dmitriev, A A
Laboratornaia ustanovka dlia issledovaniia volnovykh dvizhenii zhidkosti



Q
185
D55



А. А. ДМИТРИЕВ и Т. В. БОНЧКОВСКАЯ

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНОВЫХ ДВИЖЕНИЙ ЖИДКОСТИ

В связи с расширением плана гидростроительных работ особое значение приобретают вопросы о разрушительном действии волн на берега и сооружения.

Один из путей изучения волн — их моделирование в лотках и бассейнах. Обычно волновая установка состоит из канала или бассейна, заполняемого водой, волнопродуктора той или иной конструкции и гасителя волны. Чаще всего гаситель имеет вид более или менее пологого и шероховатого склона. В некоторых случаях лоток снабжается дрейфопродуктором — аэродинамической трубой для воспроизведения ветровых волн и течений.

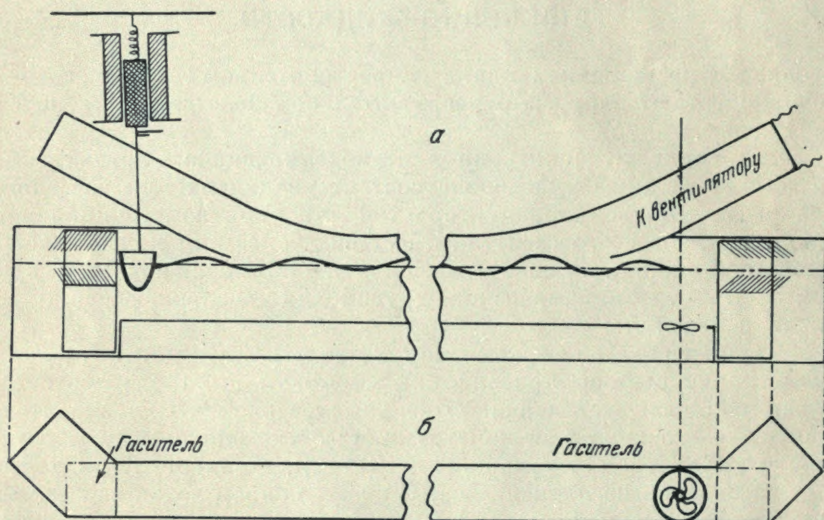
В Морском гидрофизическом институте АН СССР для изучения движений в волне светополяризационным методом была разработана специальная волновая установка. Отдельные ее элементы в значительной степени отличаются по своей конструкции от имеющихся в существующих установках. Волновой лоток, длиной 400 см, шириной 15 см и высотой 35 см, изготовлен из плексигласа. С обоих концов лоток заканчивается несколько расширенными коленами, длиной 20 см, расположенными под углом 135° к оси лотка. Если в лотке возбуждается малая капиллярная волна, то, вступая в колено, она претерпевает многократное отражение от стенок и теряет при этом свою энергию. Углы и размер колен рассчитывались так, чтобы обеспечить возможно большее число отражений, а следовательно, максимальное гашение малой волны. В нашей установке имело место семикратное отражение. На фиг. 1,*б* представлен схематический вид лотка сверху.

Для гашения крупных волн, возбуждаемых волногоном, применяются дополнительные гасители иной конструкции. Они устанавливаются в канале перед входом в колено. Рабочая часть этих гасителей состоит из двух пластин квадратного сечения, скрепленных между собой на расстоянии 12—15 см. На внутренних поверхностях пластин под углом 50—60° к ним насаживался длинный упругий ворс, образующий как бы ловушку для волн (фиг. 1,*а*). Гасители крепятся на специальных подставках так, чтобы уровень спокойной воды слегка покрывал ворс нижней щетки. Волна, проходя между щетками, теряет свою энергию на перемещение ворсинок, наклоненных в направлении ее движения, и входит в колено уже ослабленной. После отражения от стенок волна встречает ворс щеток, теперь наклоненных ей навстречу. Здесь снова происходит ее гашение и частичное отражение. Применение гасителей этой конструкции дало хорошие результаты.

Достаточно хорошее гашение позволило нам использовать волногон двустороннего действия в виде параболы $y=2px^2$ с параметром $p=0,2$. Для гашения волны, идущей от волногона в обратном направлении, гаситель устанавливался сразу за волногоном перед входом в колено. Другой гаситель по мере надобности ставился у противоположного колена.

Волногон обычно приводится в движение электромотором. Однако этот метод дает достаточную устойчивость периода возбуждаемой волны только в случае стабильного напряжения сети. Если же стабильность не обеспечивается, то выгоднее пользоваться другим способом возбуждения.

Нами был разработан возбудитель колебаний волногона следующей конструкции. Сердечник из листового железа, длиной 19 см и сечением



Фиг. 1. Схематический вид установки:

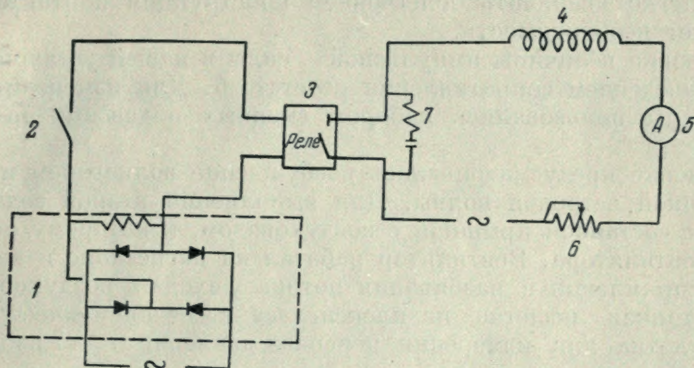
а — вид сбоку; *б* — вид сверху.

7×7 см^2, подвешенный на стальной пружине, входит в окно электромагнитной катушки. К низу сердечника крепится на двух стержнях волногон параболической формы. Поверхности волногона и сердечника покрывались пленкой плексигласа. Под сердечником на стержне помещается контактор в виде двух тонких металлических полосок, причем на верхний контакт крепится лист фольги. Контактор и катушка электромагнита включены в схему, представленную на фиг. 2. Схема может быть расчленена на две взаимосвязанные цепи: а) управляющая цепь, состоящая из источника питания *1* и контактора *2*, который в начальном положении разомкнут; б) управляемая через реле *3* цепь, которая включает в себя катушку индуктивности *4*, амперметр *5*, переменное сопротивление *6*, питание от сети напряжением 220 в и искрогаситель к реле *7*.

Волногон приводится в движение легким толчком. Под действием этого импульса вверх или вниз система: пружина — сердечник — волногон начинает колебаться. При этом в момент движения волногона вверх сопротивление воздуха подает листок фольги вниз, контакты замыкаются и реле включает управляемую цепь. Таким образом, в идеальном случае при движении сердечника вверх управляемая цепь должна быть включена. Магнитное поле катушки совершает работу, поднимая сердечник

вверх. При этом происходит питание автоколебательной системы. Обратное движение сердечника вниз совершается под действием силы тяжести.

Для подобной автоколебательной системы можно теоретически получить закон движения [1]. Если сила упругости пружины равна $N\dot{Z}$, где Z — отклонение от положения равновесия, сила трения равна βZ, где точка обозначает дифференцирование, сила инерции равна $m\ddot{Z}$, то сила



Фиг. 2. Электрическая схема возбуждения волногона.

магнитного поля, совершающая работу во время движения вверх и равная нулю при движении вниз, будет равна

$$\frac{1}{2}F(1+\operatorname{sgn}\dot{Z}),\ \text{где}\ \operatorname{sgn}\dot{Z}=\begin{cases}1 & \text{при}\ \dot{Z}>0,\\ 0 & \text{при}\ \dot{Z}<0.\end{cases}$$

Уравнение движения примет вид

$$\ddot{Z}+\frac{\beta}{m}\dot{Z}+\frac{N}{m}Z=\frac{1}{2}\frac{F}{m}(1+\operatorname{sgn}\dot{Z}).$$

Его решение можно написать в следующем виде:

$$Z(t)=\begin{cases}\dfrac{F}{N}\left[1-\dfrac{e^{\delta}}{e^{\delta}-1}e^{-\frac{\beta}{2m}t}\left(\cos\dfrac{2\pi t}{T}+\dfrac{\delta}{\pi}\sin\dfrac{2\pi}{T}t\right)\right] & \text{при}\ 0\leqslant t\leqslant\dfrac{T}{2},\\ -\dfrac{F}{N}\dfrac{e^{2\delta}}{e^{\delta}-1}e^{-\frac{\beta}{2m}t}\left(\cos\dfrac{2\pi}{T}t+\dfrac{\delta}{\pi}\sin\dfrac{2\pi}{T}t\right) & \text{при}\ \dfrac{T}{2}\leqslant t\leqslant T,\end{cases}$$

где период колебаний

$$T=\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{N}{m}-\left(\frac{\beta}{2m}\right)^2}},\qquad \delta=\frac{\beta}{4m}\cdot T.$$

Наибольшее отклонение вибратора достигается при $t=\frac{T}{2}$ Оно составляет

$$Z_{\max}=\frac{F}{N}\frac{e^{\delta}}{e^{\delta}-1}.$$

Период автоколебаний совпадает с периодом собственных колебаний системы.

При практическом осуществлении конструкции, естественно, не удается получить питание автоколебательной системы в течение всего полупериода. Однако путем увеличения мощности импульса легко компенсировать сокращение его длительности. В нашем случае длительность импульса составляет около 25% полупериода. При силе тока 1—2а этого вполне достаточно для возбуждения волн высотой до 4 см. Длительность импульса легко увеличить облегчением конструкции контактора, если в этом будет необходимость.

Регулировка величины импульсной силы в нашей установке осуществляется введением сопротивления реостата *6*. Для изменения периода колебаний мы пользовались набором сменных подвесных пружин для волногона.

В установке предусматривалось возбуждение волногоном и крупных волн и мелкой ветровой волны. Для выполнения второй задачи лоток закрывался составной крышкой с воздуховодом, к которому подводился поток от вентилятора. Вентилятор работал на нагнетание и на всасывание. Для спрямления и разбивания потока у входа в воздуховод монтировалась тонкая решетка из плексигласа с сечением ячеек 2×2 см^2. В крышке лотка для измерения перепада давления и для ввода трубки Пито имелись отверстия.

В отдельных исследованиях необходимо измерять тангенциальные силы ветра, приложенные к крышке. Для этой цели был сконструирован тензомер следующей конструкции. В крышке лотка был сделан полукруглый вырез, в который заходил одной своей половиной диск, изготовленный, так же как и крышка лотка, из плексигласа. Диск был подвешен на тонкой металлической нити, с приклеенным на ней зеркальцем. Другая половина диска выступала вбок от крышки. Диск мог вращаться вместе с концом нити, закручивая ее. Для предохранения от засасывания воздуха через зазор между диском и вырезом в крышке диск тензомера закрывался глухим карманом из плексигласа, а нить с зеркальцем защищалась стеклянной трубкой.

Свет от осветителя направлялся на зеркальце и отбрасывался им на круглую шкалу. Таким образом, касательная сила ветра, действуя на открытую потоку половину диска, поворачивала диск на некоторый угол закручивания φ, фиксируемый на шкале световым зайчиком.

Уравнение крутильных колебаний диска

$$I\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2}+K\frac{\partial\varphi}{\partial t}+D\varphi=0,$$

где I — инерция диска, K — коэффициент трения, D — упругость нити.

Решение уравнения имеет вид

$$\varphi=Ae^{-\frac{K}{2I}t}\sin\sqrt{\frac{D}{I}-\left(\frac{K}{2I}\right)^2}\,t.$$

Период колебаний

$$\tau=\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{D}{I}-\left(\frac{K}{2I}\right)^2}}.$$

Отсюда без труда экспериментальным путем можно найти упругость нити D. Так как величина $(K/2I)^2$ весьма мала, то период собственных колебаний диска

$$\tau_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{D/I}}.$$

Если мы загрузим диск гирьками массой m, то инерция его изменится на величину $\delta = mr^2$, где r — расстояние от точки приложения гирек до оси вращения. Тогда период колебаний будет равен

$$\tau_2 = \frac{2\pi}{\sqrt{D/(I+\delta)}}.$$

Решая эти уравнения совместно, находим D. Под действием стационарной касательной силы диск повернется на угол φ. Тогда, зная момент упругих сил $M = D\varphi$, легко подсчитать усилие ветра, приложенное к 1 см² диска, по формуле

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{M}{R^3},$$

где R — радиус диска.

Для ряда работ, связанных с комплексным изучением волнения, течений и ветра, установка была дополнена водогоном и вторым дном. Второе дно, также из плексигласа, устанавливалось в лотке вплотную к его стенкам на расстоянии 25 см от крышки и 10 см от основного дна лотка. Таким образом между низом лотка и этим дополнительным дном образовывалась труба. Один ее конец с торца был закрыт наглухо, но сверху (во втором дне) был сделан кольцевой вырез, в котором на оси вращались лопасти водогона. Ось водогона через ряд шестерен, расположенных на креплении над лотком, приводилась в движение мотором. Другой конец трубы оставался открытым. Вращающиеся лопатки водогона нагнетали воду через кольцевой вырез из нижней трубы вверх. Отток происходил над вторым дном. Таким способом возбуждалась достаточно равномерная замкнутая циркуляция воды: внизу движение было направлено к водогону, вверху в обратном направлении.

Описанная установка была предназначена в основном для съемок движений в волне светополяризационным методом. Предусматривалась также возможность фотографирования волн при освещении их сбоку или с подсветкой снизу через продольную щель.

Размеры установки были выбраны в соответствии с поставленными перед нами задачами, однако принципиальное устройство элементов установки с успехом может быть использовано и при более крупных масштабах установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Лурье. Операционное исчисление. Гостехиздат, 1950.

Представлено 7/IX 1953 г.

Q
185
D55
Physical
Applied Sci.

Dmitriev, A A
Laboratornaia ustanovka dlia issledovaniia volnovykh dvizhenii zhidkosti

PLEASE DO NOT REMOVE
CARDS OR SLIPS FROM THIS POCKET

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY